実験トランジスタ・アンプ設計講座

黒田 徹

●実用技術編

第10章 回路シミュレータSPICE入門（25）

サンスイAU-111のイコライザ・アンプ

今回は，1965年に発売されたサンスイのプリ〜メイン・アンプAU 111のイコライザ・アンプ部をシミュレーションします．

このEQアンプは，初段にトランジスタ，2段目に12 AX 7を用いたハイブリッド構成です(1)．トランジスタはソニーの2 SC 402ですが，SIMetrix評価版のライブラリに2 SC 402がないので，シミュレーション回路（第1図）は，ほぼ同等の特性のトランジスタBC 546 Bに置き換えています．

第1表に2 SC 402の主要特性を，第2表にBC 546 Bのデバイス・モデルを示します．すぐ気づかれるように，2 SC 402の直流電流増幅率 h_{FE} は 90_{typ} です．一方，BC 546 Bの順方向電流増幅率BFは480となっています．AU-111に使用される2 SC 402は h_{FE} の高いものが選別されているはずなので，h_{FE} が90ということはないでしょう．多分200程度はあるだろうと思います．

項目		
コレクタ・ベース間電圧	V_{CBO}	50 V
コレクタ電流	I_C	100 mA
コレクタ損失	P_C	100 mW
接合温度	T_j	120 ℃
直流電流増幅率	h_{FE}	90
小信号電流増幅率	h_{fe}	110
トランジション周波数	f_T	140MHz
ベース接地出力容量	C_{ob}	2.5 pF
C_c・$r_{bb'}$ 積	C_c・$r_{bb'}$	80 ps

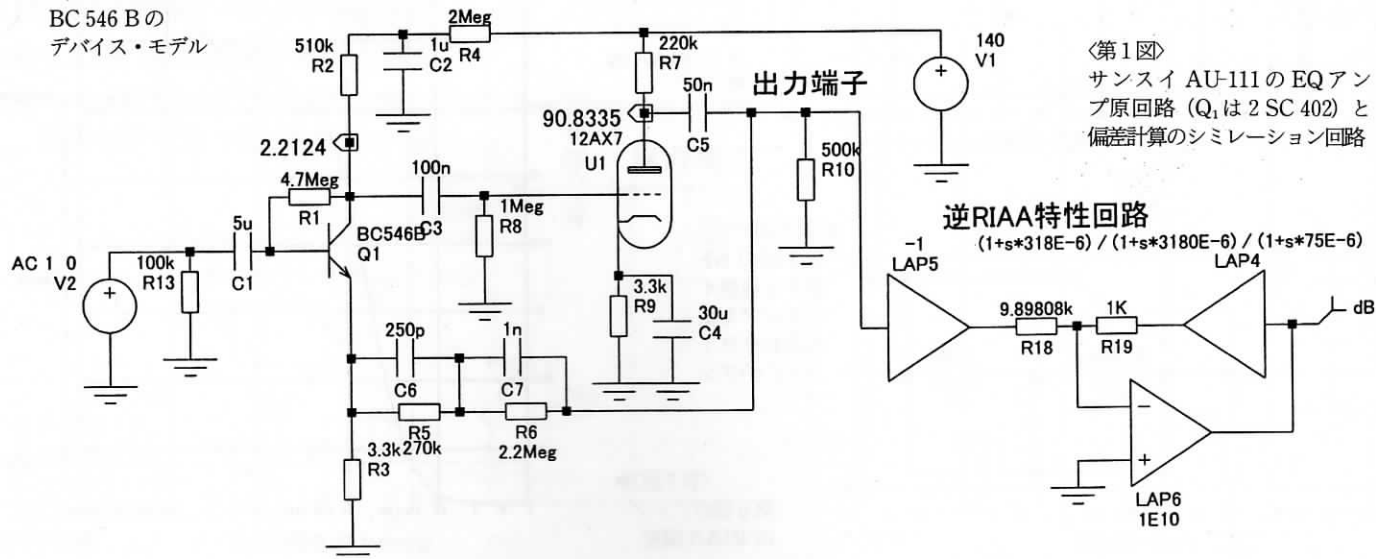
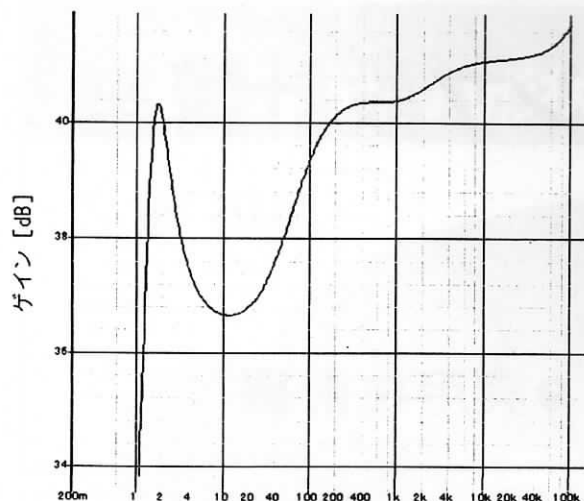
〈第1表〉2 SC 402の定格

NFBは，12 AX 7のプレートに接続されたC 5の後から初段エミッタに戻されています．

(1) 動作点

初段トランジスタのコレクタ〜ベース間に接続された R_1 は，トランジスタの動作点を安定化するものです．シミュレーションのコレクタ直流電圧は2.2124 Vとなっています．2段目のプレート電圧は90.8335 Vとシミュレーションさ

```
.model BC546B npn ( IS=7.59E-15 VAF=73.4 BF=480 IKF=0.0962 NE=1.2665
+     ISE=3.278E-15 IKR=0.03 ISC=2.00E-13 NC=1.2 NR=1 BR=5 RC=0.25 CJC=6.33E-12
+     FC=0.5 MJC=0.33 VJC=0.65 CJE=1.25E-11 MJE=0.55 VJE=0.65 TF=4.26E-10
+     ITF=0.6 VTF=3 XTF=20 RB=100 IRB=0.0001 RBM=10 RE=0.5 TR=1.50E-07)
```

▲〈第2表〉BC 546 Bのデバイス・モデル

〈第1図〉サンスイAU-111のEQアンプ原回路（Q_1 は2 SC 402）と偏差計算のシミレーション回路

〈第2図〉第1図の回路の RIAA 偏差

〈第3図〉AC 解析の設定ダイアログボックスで Enable malti-Step をチェックする

〈第4図〉マルチステップ解析の設定

れました．12 AX 7 は Koren 氏のモデルです．ちなみに中林歩氏のモデルを用いたときのプレート電圧は 77.9509 V です．原回路図に記載のプレート電圧は 78 V で，中林氏のモデルは非常によく合っています．

(2) 疑問のある RIAA 偏差

Koren 氏の 12 AX 7 モデルを用いたときの RIAA 偏差のシミュレーション結果を**第2図**に示します．

1 kHz のゲインは 40.4 dB です．すぐわかるように，100 Hz 以下の周波数特性が大きく落ちています．20 Hz のゲインは 36.8 dB で，1 kHz に対し−3.6 dB 低下しています．40 年前のアンプとはいえ，周波数特性に問題あり，でしょう．原因を探ってみましょう．

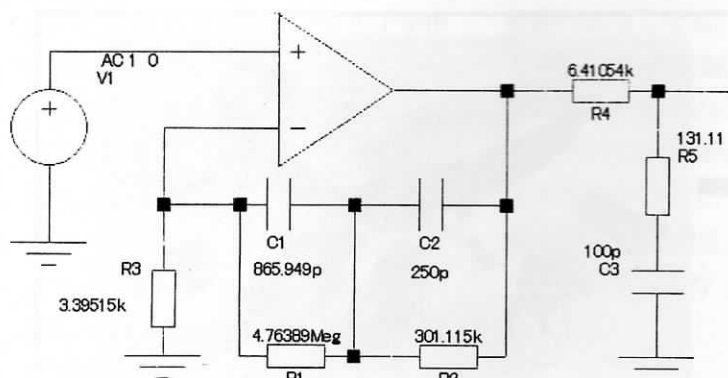
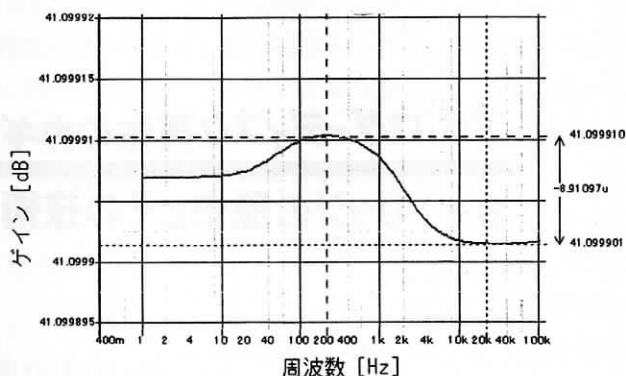
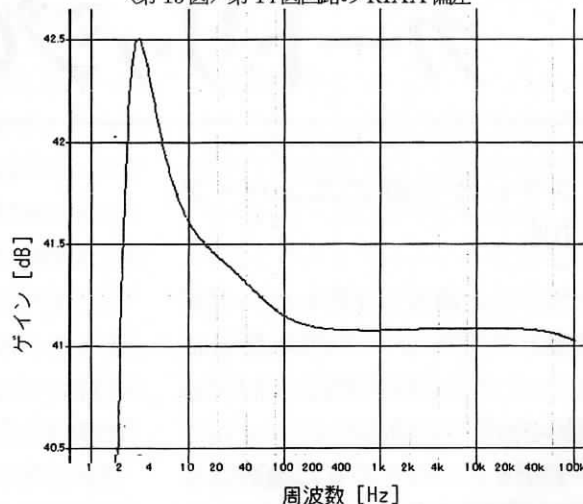
まず考えたことはトランジスタの h_{FE} です．h_{FE} を 90〜480 までステップ変化させ，周波数特性を採ってみましょう．回路図ウィンドウのメニューから［Simulator］→［Choose Analysis …］をクリックし，現れたダイアログボックスで AC 解析を選択し，AC タブをクリックし，そして**第3図**のように Enable multi-step をチェックします．それから右横の［Define…］ボタンをクリックします．**第4図**のダイアログボックスが現れるので，図のように設定します．すなわち，

Sweep mode: Model Parameter
Model name: BC 546 B
Parameter name: BF
start value: 90
stop value: 480
Number of steps: 4
オプション・ボタン：Linear

設定がすみましたら［OK］ボタンをクリックして**第3図**のダイアログボックスに戻り，［Run］ボタンをク

◀〈第5図〉電流増幅率を 90/220/350/480 に変えたときの RIAA 偏差

◀〈第6図〉第1図の NF 素子と理想オペアンプを組み合わせたイコライザ・アンプ

〈第7図〉▶ 第6図のアンプの RIAA 偏差

〈第14図〉RIAA偏差が0となる素子定数のアンプ

〈第15図〉第14図回路のRIAA偏差

◀〈第16図〉R 3，R 5，R 6，C 7の定数を変更する

〈第17図〉▶第16図回路のRIAA偏差

kHzの偏差は0.0000089 dB以下です．

第14図の回路においてA 0＝4540，fc＝2.62 kHz，A 1 kHz＝112としましたが，これらの値はじつは第10図の回路のオープン・ループ・ゲイン，オープン・ループ・カットオフ周波数，1 kHzのクローズド・ループ・ゲインです．したがって第10図の回路定数を第16図のように変更すればよいわけです．

第16図の回路のRIAA偏差を第17図に示します．第12図と比べると，100 Hz～100 kHzの周波数特性がフラットになりました．しかし3 Hz付近のピークはむしろ増えています．このピークはC 3，C 4，C 5の位相回転に起因します．

そこで，帰還信号をC 5の手前から取り出し，またC 3，C 4，C 5の値を変更してみました．最終回路を第18図に示します．第18図の回路のRIAA偏差を第19図に示します．20 Hz～20 kHzのRIAA偏差は0.02 dBに収まっています．

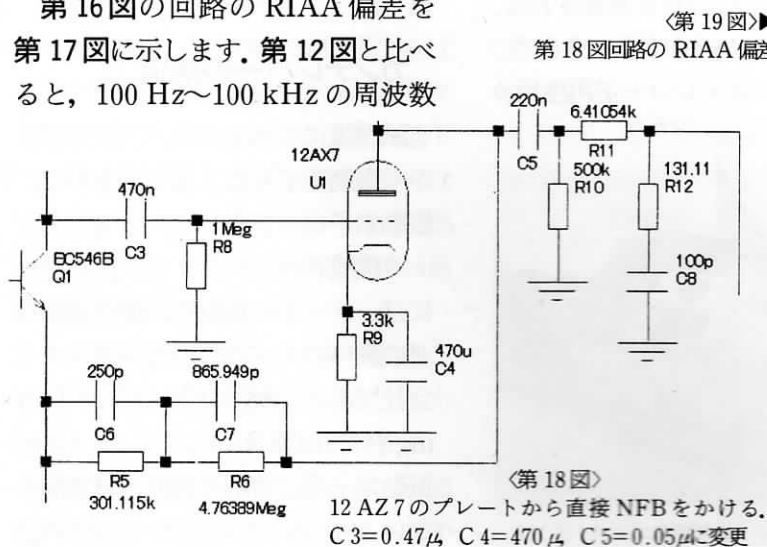
◆引用文献

(1)「アンプ部品活用マニュアル'81」p. 229, ㈱ラジオ技術社, 1981年.

(2) 拙著「基礎トランジスタ・アンプ設計法」p. 69, ㈱ラジオ技術社, 1989年.

(3) 上掲書, p. 81

■12月号訂正■

p. 151，1段目下から5行目「ひずみが1%になる出力」の前に「第14図のシュミュレーションでは」を挿入します．

〈第18図〉
12 AZ 7のプレートから直接NFBをかける．
C 3＝0.47 μ，C 4＝470 μ，C 5＝0.05 μに変更

〈第19図〉▶
第18図回路のRIAA偏差